

# PHENIX 実験における 偏極陽子陽子衝突からの粒子クラスタの 二重ヘリシティ非対称度

日本物理学会 2007年秋季大会

2007年9月22日 22aZC-11

中野 健一 (東工大理、理研)

for the PHENIX Collaboration

## ■ 目次

- 研究目的
- PHENIX 実験
- 粒子クラスタの測定法
- 結果
- 結論

# 研究目的

## ■ 陽子のスピン構造

$$\frac{1}{2}_{\text{proton}} = \frac{1}{2} \sum_q \Delta q + \Delta g + L_{q,g}$$

- 核子スピンの問題 (1988年 EMC実験) ...  $\Delta q \sim 0.3$
- 陽子中のグルーオンの偏極度  $\Delta g$
- 偏極陽子陽子衝突による  $\Delta g$  の直接測定 ... ジェット、 $\pi^0$ 、直接光子等の生成過程

## ■ 二重ヘリシティ非対称度 ( $A_{LL}$ ) の測定

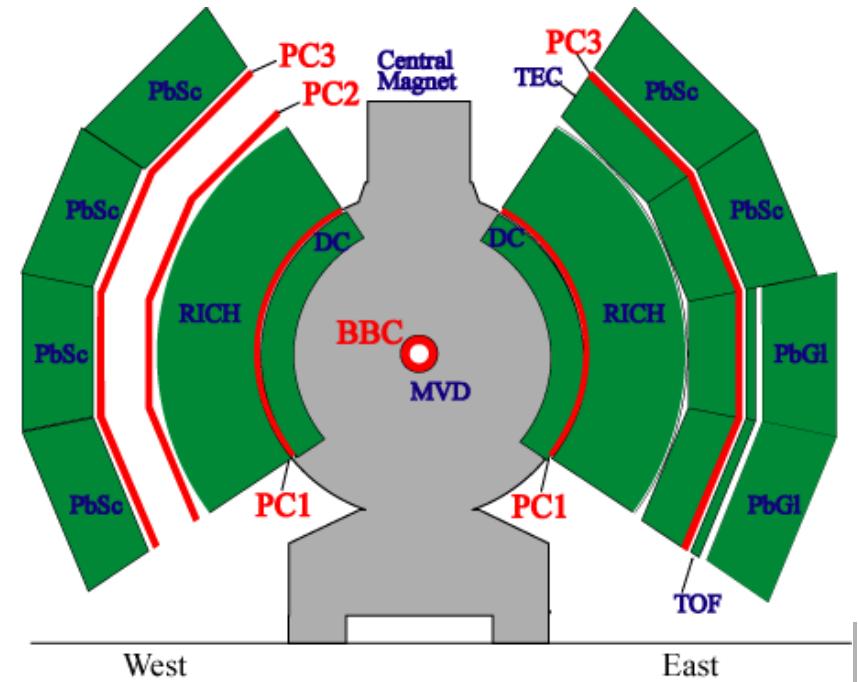
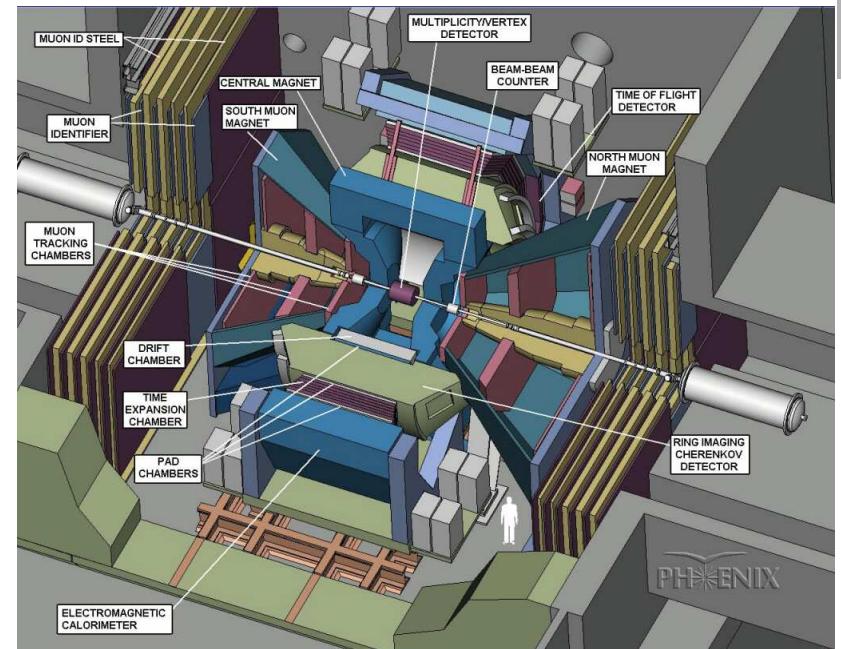
$$A_{LL} \equiv \frac{\sigma_{++} - \sigma_{+-}}{\sigma_{++} + \sigma_{+-}} = \frac{1}{P_B P_Y} \frac{N_{++} - RN_{+-}}{N_{++} + RN_{+-}} , \quad R \equiv \frac{L_{++}}{L_{+-}}$$

- $A_{LL}$  は  $\Delta g$  の情報を持つ
- $p_T \sim 10 \text{ GeV}/c$  のジェット生成では  $g+g$  と  $g+q$  の反応が主
- $g+g$  でのジェット生成の場合、 $A_{LL}^{gg} = \int dx_1 dx_2 \frac{\Delta g(x_1)}{g(x_1)} \cdot \frac{\Delta g(x_2)}{g(x_2)} \cdot \hat{a}_{LL}^{gg}$

- ## ■ PHENIX Central Arm でジェットの中心部を粒子クラスタとして検出し $A_{LL}$ を測定する
- Run 2005 の測定結果は発表済。予想曲線との比較に関する研究を進めた

# PHENIX 実験 @ BNL-RHIC

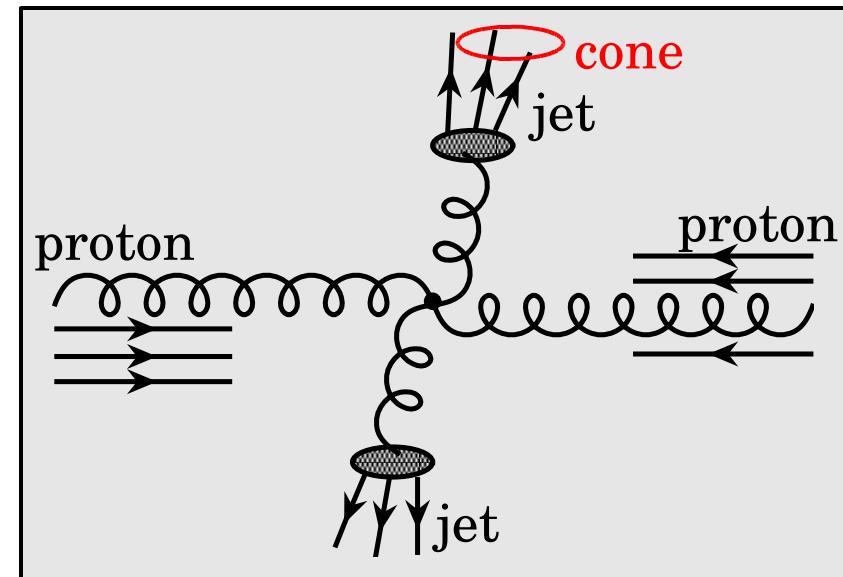
- 縦偏極した陽子陽子の衝突 ... Run 2005,  
 $\sqrt{s} = 200 \text{ GeV}, L = 2.2 \text{ pb}^{-1}, P = 46\%$
- Central Arm 検出器 ...  $\Delta\phi = 90^\circ \times 2, |\eta| < 0.35$
- イベント選択条件
  - $p_T(\text{photon}) > 2 \text{ GeV}/c$  (offline trigger)
- 粒子選択条件
  - 光子: EMCAL で検出
    - $\sigma_E/E \sim 8\% \text{ at } 1 \text{ GeV}$
    - $p_T > 0.4 \text{ GeV}/c$
    - 電磁シャワーの形状による選択
    - 荷電粒子のトラックと一致するものの除外
  - 荷電粒子: Drift Chamber と Pad Chamber 1 で検出
    - $\sigma_p/p \sim 2\% \text{ at } 1 \text{ GeV}/c$
    - $0.4 < p_T < 4.0 \text{ GeV}/c$



# 粒子クラスタの測定法

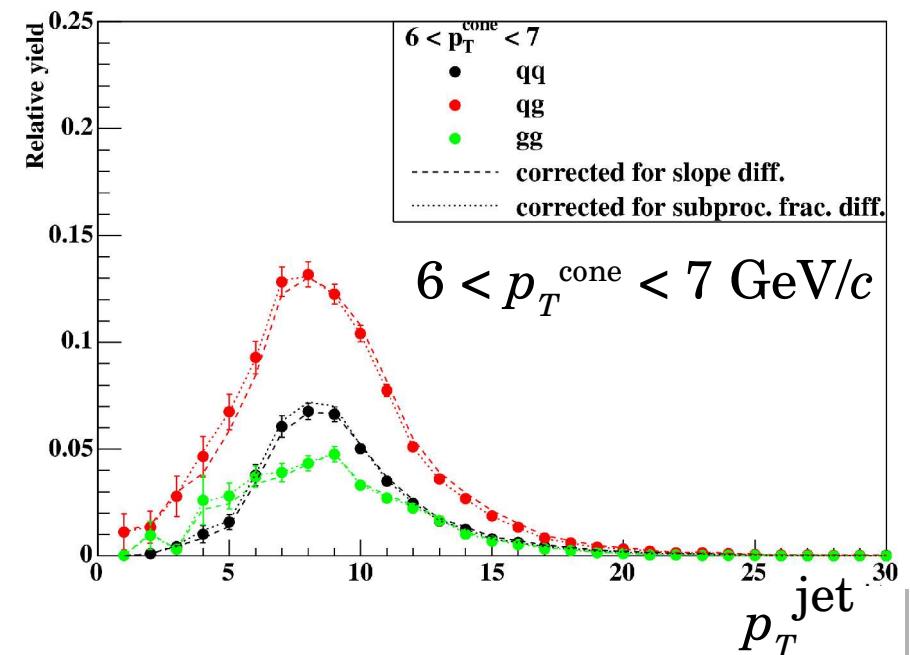
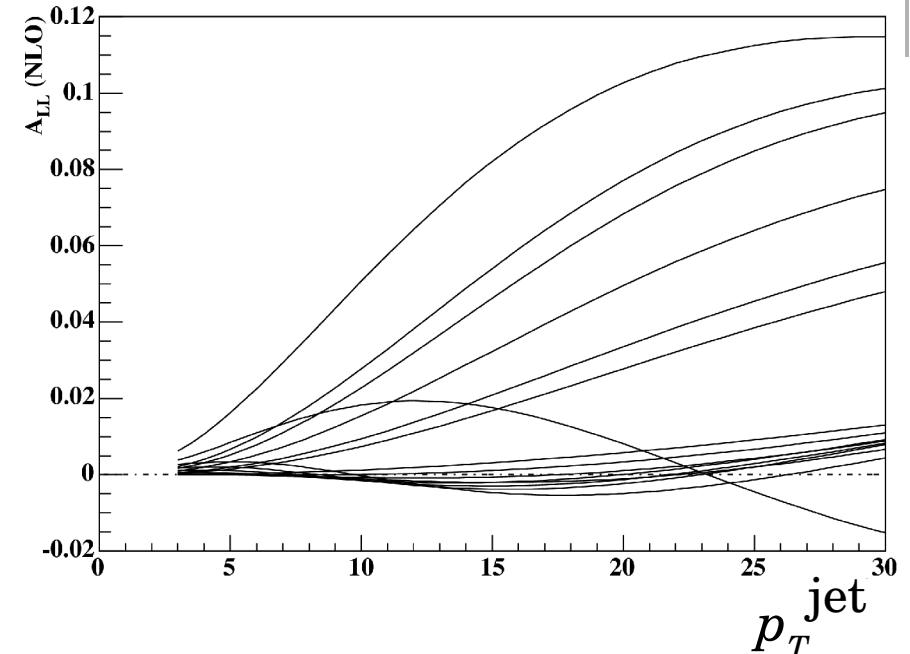
## ■ コーンを用いたクラスタリング

- Central Arm の 1 arm 内の光子 ( $p_T > 0.4 \text{ GeV}/c$ ) と荷電粒子 ( $0.4 < p_T < 4.0 \text{ GeV}/c$ ) を用いる
- 全ての粒子を seed としてそれぞれのコーンを決める
  - cone radius  $R = \sqrt{(\Delta\phi)^2 + (\Delta\eta)^2} = 0.3$
  - コーンの運動量  $\vec{p}^{\text{cone}} \equiv \sum_{i \text{ in cone}} \vec{p}_i$
  - コーンの運動量の方向を軸として新たなコーンを作る。コーンの軸が動かなくなるまで繰り返す
- $p_T^{\text{cone}}$  が最大のコーンを採用する



# 粒子クラスタの測定法

- 様々な  $\Delta g$  の分布を仮定した  $A_{LL}$  予想曲線
  - NLO pQCD による  $|\eta| < 0.35$  での jet  $A_{LL}$ 
    - GRSV parametrization
    - subprocess ごと ( $q+q$ ,  $q+g$ ,  $g+g$ )
  - PYTHIA + GEANT を用いて、ある  $p_T^{\text{cone}}$  のイベントに対して各 subprocess と  $p_T^{\text{jet}}$  がどれだけ寄与するかを評価する
    - PYTHIA は Multi-Parton Interaction tune されたものであり、PHENIX 検出面積内でのスラスト、粒子数、ジェット軸からの粒子の空間分布、コーン生成レートを良く再現する



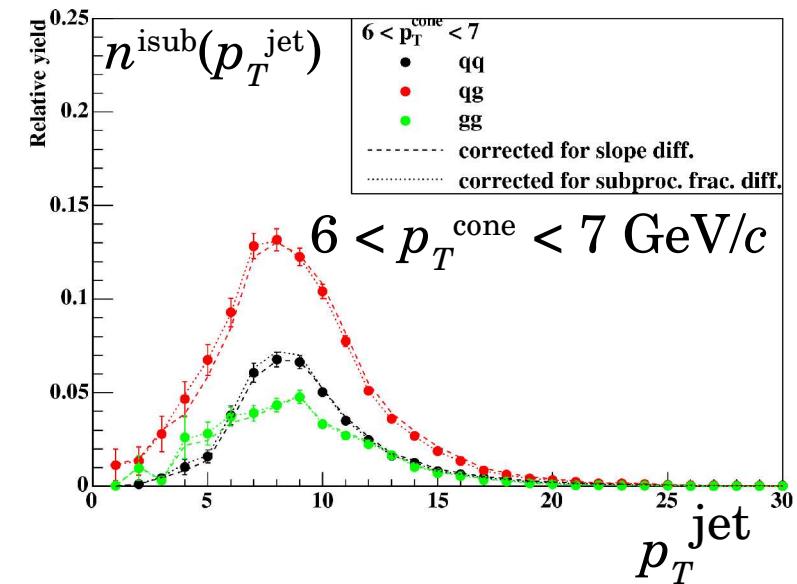
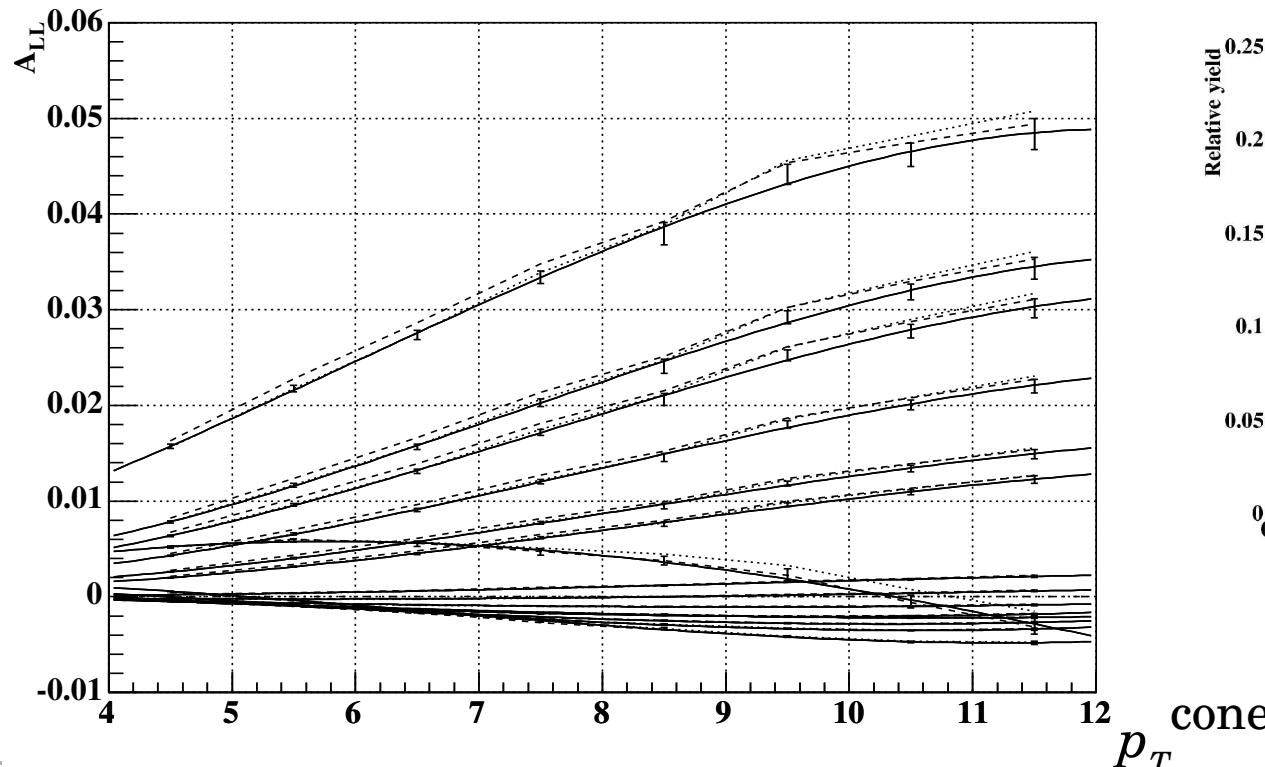
# 粒子クラスタの測定法

- 様々な  $\Delta g$  の分布を仮定した  $A_{LL}$  予想曲線 (続き)

- 各  $p_T^{\text{cone}}$  での  $A_{LL}$  は、全ての subprocess と  $p_T^{\text{jet}}$  での jet  $A_{LL}$  が混ざったもの

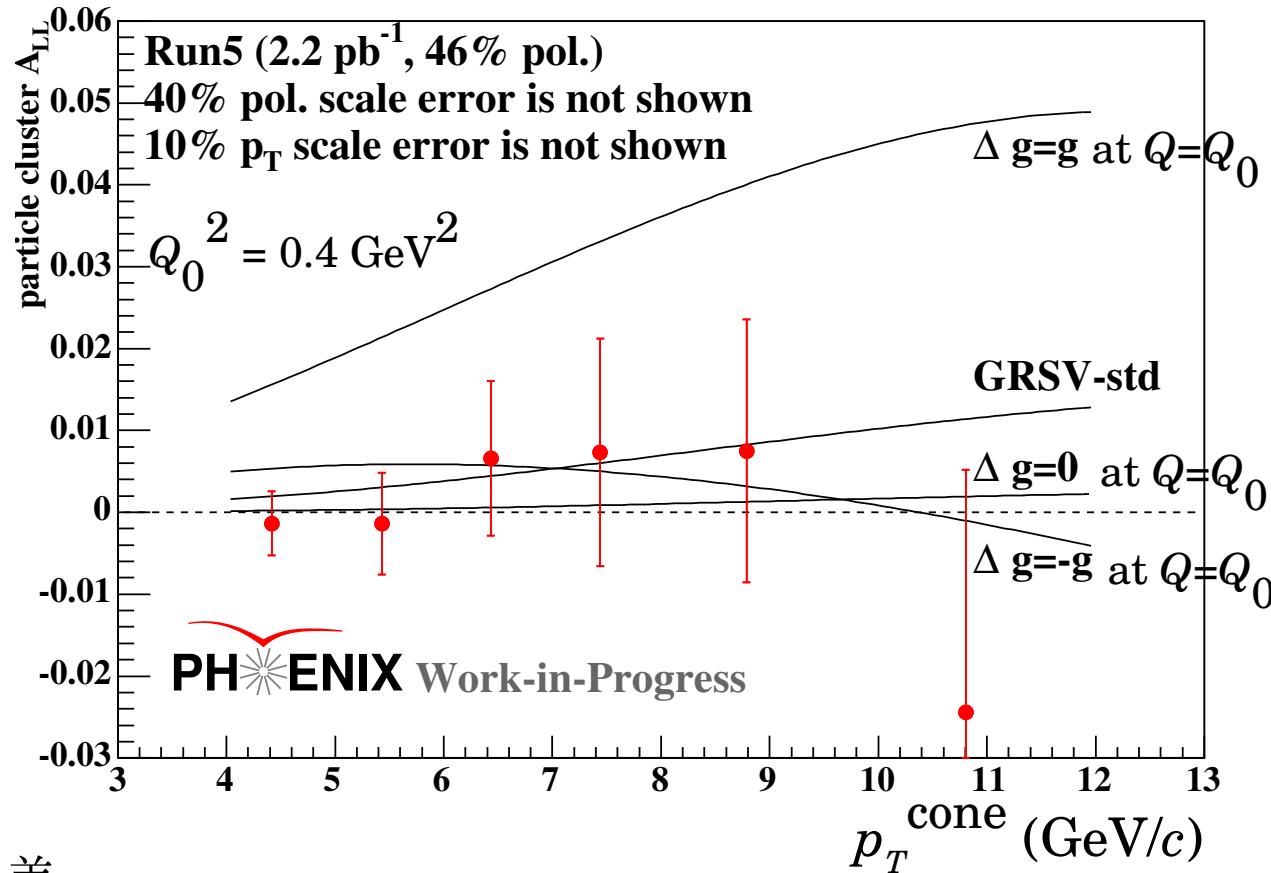
$$A_{LL}^{\text{cone}} = \frac{\int dp_T^{\text{jet}} \sum_{isub=qq,qg,gg} n^{isub}(p_T^{\text{jet}}) \cdot A_{LL}^{isub}(p_T^{\text{jet}})}{\int dp_T^{\text{jet}} \sum_{isub=qq,qg,gg} n^{isub}(p_T^{\text{jet}})}$$

- コーンで測定した  $p_T$  の測定効率とバックグラウンド混入量 ( $p_T^{\text{cone}}/p_T^{\text{jet}}$ )
- quark jet と gluon jet で破碎粒子の分布が異なる効果



# 結果 - 粒子クラスタの $A_{LL}$

- PHENIX Run 2005 ( $L = 2.2 \text{ pb}^{-1}$ ,  $P = 46\%$ ) result

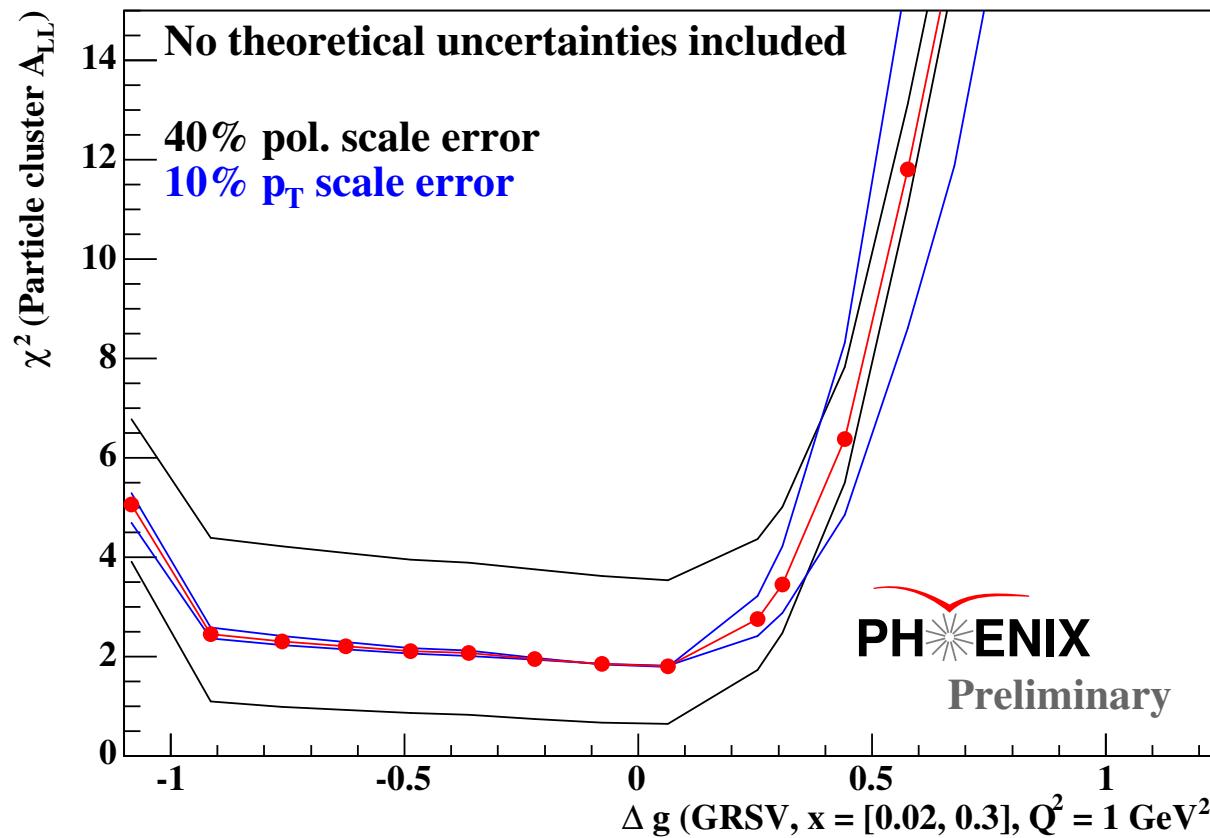


## ■ 系統誤差

- ビーム偏極度 ... 40% (新たな解析により誤差10%で求まっている)
- 測定量と理論計算の間の  $p_T$  の対応 ... 10% (横軸)
- シミュレーションの  $p_T$  slope 等に起因する誤差は上よりも小さい

# 結果 - $A_{LL}$ の測定結果と予想曲線との比較

- 粒子クラスタ  $A_{LL}$  の  $\chi^2$  vs  $\Delta g$



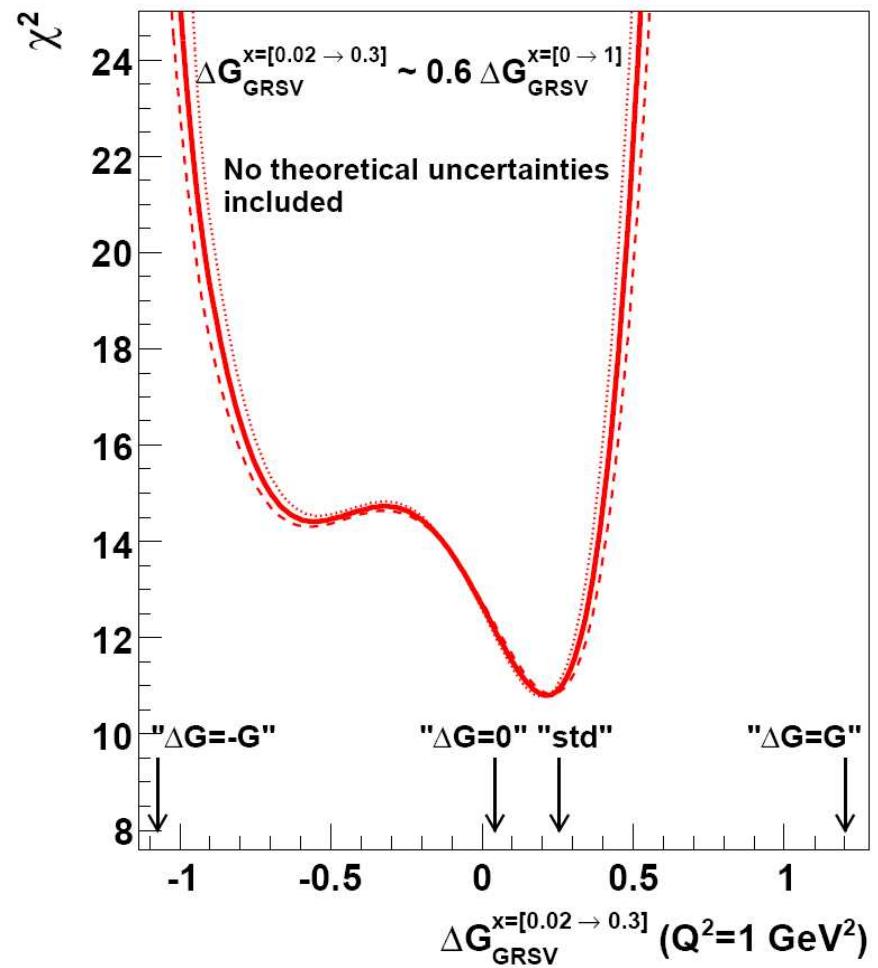
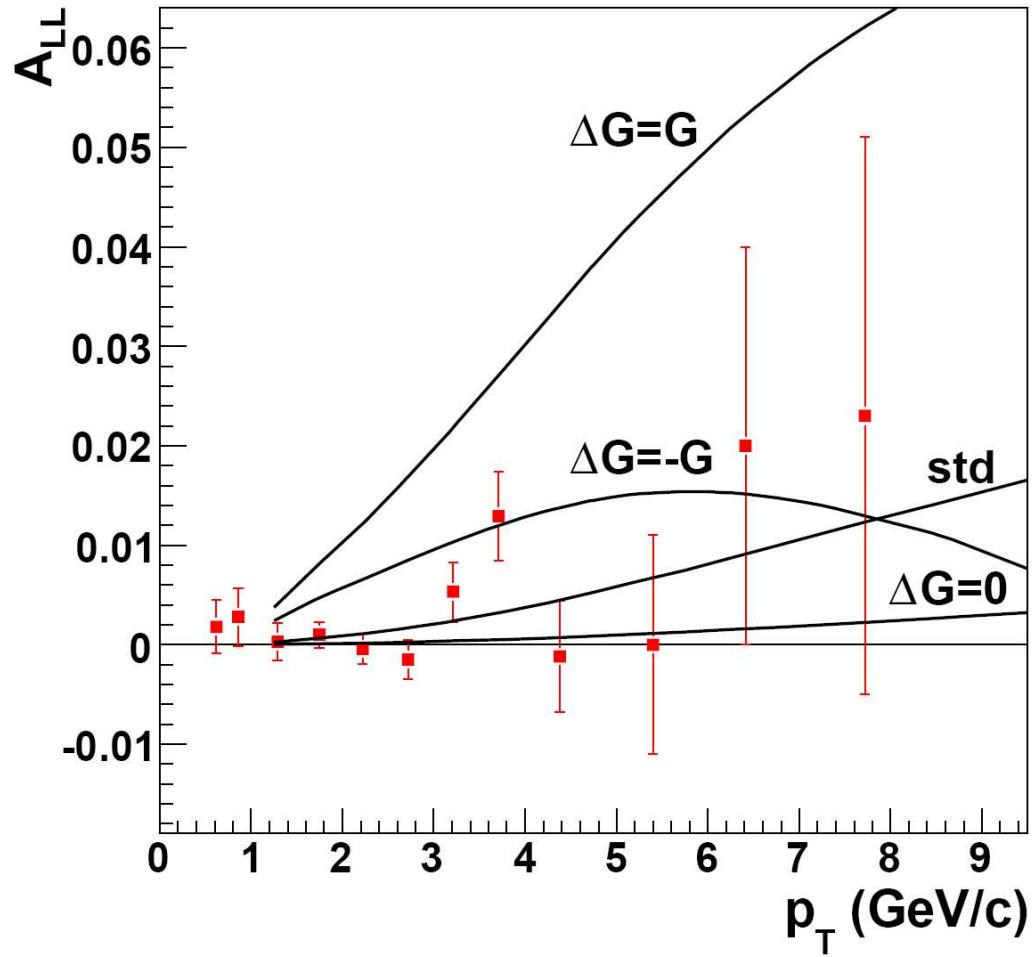
- PYTHIA を用いて  $4 < p_T^{\text{cone}} < 12 \text{ GeV}/c$  のイベントの  $x_{\text{gluon}}$  を見積もった
- GRSV parametrization を用いた場合  $0.02 < x_{\text{gluon}} < 0.3$ ,  $Q^2 = 1 \text{ GeV}^2$  において
  - $-g < \Delta g < 0.4$  ( $2\sigma$  limit)
  - $\Delta g < 0.5$  ( $3\sigma$  limit)

# 結論

- 陽子のスピン構造、陽子中のグルーオンの偏極度  $\Delta g$
- 縦偏極した陽子陽子の衝突 ... Run 2005,  $\sqrt{s} = 200 \text{ GeV}$ ,  $L = 2.2 \text{ pb}^{-1}$ ,  $P = 46\%$
- PHENIX Central Arm 検出器 ( $\Delta\phi = 90^\circ \times 2$ ,  $|\eta| < 0.35$ ) でジェットの中心部を粒子クラスタとして検出し、 $A_{LL}$  を測定した
- Multi-particle  $A_{LL}$  の測定結果を、様々な  $\Delta g$  の分布を仮定した  $A_{LL}$  予想曲線と比較
  - GRSV parametrization を用いた場合  $0.02 < x_{\text{gluon}} < 0.3$ ,  $Q^2 = 1 \text{ GeV}^2$  において  
 $-g < \Delta g < 0.4$  ( $2\sigma$  limit),  $\Delta g < 0.5$  ( $3\sigma$  limit)

# Backup Slides...

# PHENIX Run 2005 $\pi^0 A_{LL}$



arXiv:0704.3599

# Yield of Particle Cluster per Lumi.

■ Real data

$$\gamma^{icone} \equiv \frac{C_{\text{corr}}}{f_{\text{BBC}}} \cdot \frac{N_{\text{cone+ph}}^{icone}}{L}$$

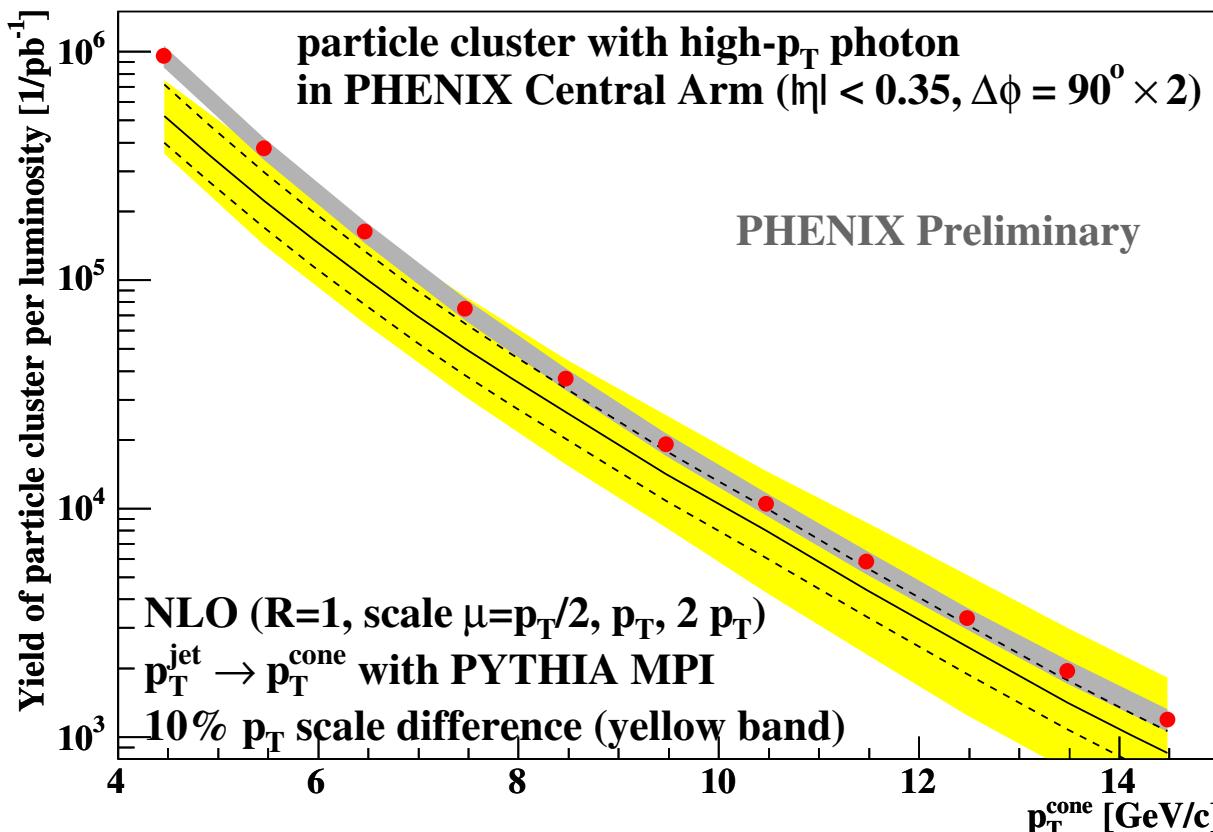
- $C_{\text{corr}} / f_{\text{BBC}}$  ... correction factor for the yield loss due to trigger efficiencies (high- $p_T$  photon trigger & BBC trigger)
- $N_{\text{cone+ph}}$  ... yield of cone+high- $p_T$ -photon events
- $L$  ... luminosity ( $2.2 \text{ pb}^{-1}$ )

■ NLO theory + PYTHIA

$$\gamma^{icone} = \sum_{ijet} f_{ijet}^{icone} \cdot \epsilon_{\text{trig+acc}}^{ijet} \cdot N_{\text{theo}}^{ijet}$$

- PYTHIA with Multi-Parton Interaction (MPI) tune
- $N_{\text{theo}}^{ijet}$  ... jet yield per luminosity calculated from NLO jet cross section
- $\epsilon_{\text{trig+acc}}^{ijet}$  ... the prob. that a trigger photon exists + jet acceptance corr.
- $f_{ijet}^{icone}$  ... the prob. that an event with  $p_T^{\text{jet}}$  in  $ijet$  bin makes  $p_T^{\text{cone}}$  in  $icone$  bin

# 粒子クラスタの生成レート



---

---

---

---

---

main systematic errors	
on real data	
luminosity	10%
EMCal ene. scale	5~6%
track mom. scale	0~3%

---

- slope by NLO+PYTHIA matches with real data over 3 orders of magnitude
- 10%  $p_T$  scale difference makes ~50% variation on yield
  - this variation covers the distance between real data and NLO+PYTHIA